

Dr hab. inż. Tomasz Chmielewski, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Produkcji
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

Warszawa, dn. 19.09.2020 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
pt.:

„Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne plastycznego płynięcia
z uwzględnieniem chropowatości i wzmocnienia materiału w strefie wymuszonego
kontaktu dwóch powierzchni metalicznych”

Autor: mgr inż. Paweł Sidun

Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Piwnik

Opracowano na zlecenie Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej
Wydziału Mechanicznego
Politechniki Białostockiej
z dnia 17.06.2020 r. z aneksem z dnia 14.07.2020.

1. Treść i zakres rozprawy

Recenzowana praca dotyczy nowoczesnego nurtu naukowego badania zjawisk kontaktowych w warunkach zachodzącego odkształcenia plastycznego.

We wprowadzeniu do rozprawy autor w zwięzły sposób przedstawił problematykę poruszanego zagadnienia i plan badań.

W rozdziale II autor szeroko opisał stan zagadnienia oparty na pozycjach literaturowych pochodzących z międzynarodowego obiegu literatury naukowej, głównie z renomowanych wydawnictw. Przybliżono aktualną teorię opisującą zjawiska w obszarze kontaktu ciał metalicznych, w kontekście tarcia w procesie

obróbki plastycznej. Szeroko przedstawiono informacje dotyczące modelowania numerycznego procesu kształtowania plastycznego.

W rozdziale III przedstawiono cel pracy stanowiący doświadczalną i numeryczną analizę pól odkształcenia, prędkości odkształcenia i naprężenia w strefie wymuszonego kontaktu metali z uwzględnieniem parametrów fali chropowatości i wzmocnienia materiału. Postawiono tezę „Znajomość rozkładu energii trwałego odkształcenia w strefie kontaktu dwóch powierzchni metali dla modelu z falą chropowatości pozwala określić zdolność do tworzenia lokalnych spoin plastycznych”. Przedstawiono zakres pracy.

Rozdział IV opisuje metodykę badań doświadczalnych, w którym w kolejnych etapach sformułowano numeryczny model chropowatej powierzchni za pomocą fali chropowatości, zaprezentowano i omówiono stanowiska badawcze oraz model MES.

W rozdziale V przedstawiono rezultaty badań. Zestawiono profile powierzchni po procesie odkształcenia plastycznego, zarówno eksperymentalne jak i numeryczne, a także pomiary geometryczne. Porównano uzyskane parametry chropowatości, przebieg wartości siły oraz wprowadzono współczynnik korekcji fali chropowatości.

W rozdziale VI wykonano analizę numeryczną rozkładu naprężenia, odkształcenia i prędkości odkształcenia na różnych etapach procesu odkształcenia dla modelu numerycznego z falą chropowatości.

W rozdziale VII przeprowadzono analizę wykresów rekurencyjnych odkształceń powierzchniowych z uwzględnieniem kolejnych etapów odkształcenia w strefie przypowierzchniowej jako sygnałów przechodzących w obrazy autoregresyjne.

W rozdziale VIII opracowano rozkład średniej energii odkształcenia w strefie kontaktu, co umożliwiło określenie możliwości powstawania spoiny w zależności od stopnia deformacji powierzchni spajanych próbek.

Rozprawa doktorska składa się z dziesięciu rozdziałów w tym pięć rozdziałów opisuje badania własne autora. Pozostałe części pracy to: spis treści, wprowadzenie, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury cytowanej w rozprawie.

Bibliografia obejmuje 130 pozycji literaturowych, w tym tylko jeden współautorski artykuł naukowy Doktoranta, opublikowany w renomowanym wydawnictwie z wyznaczonym IF. Cytowane źródła literaturowe są w większości aktualne, różnorodne i adekwatne do tematyki rozprawy. Spis obejmuje aktualne artykuły z czasopism naukowych, materiałów konferencyjnych i opracowań książkowych ze światowego obiegu literatury.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Praca dotyczy istotnego zagadnienia naukowego spajania materiałów metalowych w stanie stałym. W obecnym czasie trwają intensywne badania na świecie poświęcone spajaniu zaawansowanych metalowych materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych, które ze względów strukturalnych są wrażliwe na działanie ciepła cyklu spajania. W tradycyjnych metodach spajania energia potrzebna do przekroczenia bariery energetycznej spajania doprowadzana jest do układu z zewnątrz w znacznej ilości. Badania doktoranta mogą się znacząco przyczynić się do rozwoju wiedzy w obszarze spajania „na zimno” np. materiałów skłonnych do rekrytalizacji z grupy metali ultradrobnoziarnistych wytwarzanych metodami SPD (*ang.* Severe Plastic Deformation).

Z powyższych względów wybór tematyki uważam za uzasadniony zarówno ze względów naukowych jak i użytkowych.

3. Ocena merytoryczna

Po wnikliwym zapoznaniu się z treścią rozprawy stwierdzam, że analiza stanu zagadnienia, plan badań, metodyka, realizacja badań, dobór aparatury naukowo-badawczej oraz opracowanie wyników, prezentują wysoki poziom merytoryczny.

Za Największe, oryginalne osiągnięcia naukowe Doktoranta uważam, wykazanie na drodze oryginalnych wyników doświadczeń istotnej zależności liczby trwałych połączeń kontaktowych na powierzchni styku elementów metalowych od

wartości różnicy energii odkształceń plastycznych warstw powierzchniowych z określoną mikrogeometrią modelowaną falami chropowatości.

Bardzo ważnym osiągnięciem świadczącym o wysokich kwalifikacjach naukowych Doktoranta jest zademonstrowany sposób obliczeń energii odkształceń plastycznych deformowanych warstw przypowierzchniowych. Doktorant wykazał wysokie umiejętności posługiwania się programami obliczeniowymi i pojęciami z obszaru zaawansowanych metod stosowanej teorii plastyczności.

Doktorant udowodnił doświadczalnie, że liczba trwałych połączeń na powierzchni kontaktu deformowanych na zimno elementów wzrasta wraz ze wzrostem różnicy energii odkształceń plastycznych stykających się warstw spajanych przedmiotów.

Wartość różnicy energii łączonych powierzchni można regulować na kilka sposobów m.in. parametrami fal chropowatości, krzywizną powierzchni styków i poziomem wartości granicy plastyczności.

Zaobserwowane i udokumentowane oryginalnymi doświadczeniami i zaawansowanymi obliczeniami zjawisko daje naukowe podstawy do rozwoju technologii zgrzewania np. metalowych blach na zimno.

4. Uwagi do pracy

Generalnie, praca napisana jest na dobrym poziomie z zastosowaniem właściwej terminologii, jednak autor nie uniknął licznych błędów językowych tj. błędów stylistycznych i sformułowań pozbawionych sensu, np.:

- w tytule i w treści pracy wielokrotnie użyto określenia „wzmocnienie materiału” zgodnie z nomenklaturą autor powinien stosować określenie umocnienie na skutek odkształcenia (odkształceniowe).

- (str. 24) „... straty związane z pokonywaniem molekularnej chropowatości” choć rozumiem intencje autora, nie akceptuję tego sformułowania, ze względu na niekwestionowaną konieczność precyzyjnego formułowania myśli w dysertacji doktorskiej;

- (str. 30) niepoprawnie zredagowany tytuł podrozdziału „Formowanie plastyczne z wykorzystaniem MES”, brzmi jakby za pomocą metody MES można było formować plastycznie materiał.

- (str. 32) akapit pierwszy „Model ten pozwala oszacować wartość siły powodującej utratę nośności konstrukcji przez powstawanie przegubów plastycznych i w rezultacie powstanie mechanizmu” zdanie bez wątplenia nie zostało dokończony;

- na rys. 2.4 określenia „płaski” użyto dwuznacznie, zarówno w celu opisu profilu powierzchni jak i dwuwymiarowego (nazywając go płaskim) modelu. Opis jest trudny do zrozumienia;

- (str. 35) zdanie „Zakładając idealnie plastyczny model materiału, odkształcający się w obszarze działania chropowatości, styczne naprężenia tarcia wyrażono ...” jest sformułowane niewłaściwie;

- (str. 54) żargon „zdejmowanie profilu” nie powinien mieć miejsca w rozprawie doktorskiej;

- (str. 68) zdanie „Zastosowanie krzywych z prób ścinania generowałyby bardzo poważne błędy numeryczne, z racji niemożliwości uwzględnienia numerycznego procesu mikroskrawania ...” nie jest zrozumiałe.

Wskazane usterki to tylko część niedoskonałości redakcyjnych, co sprawia wrażenie pośpiechu w pisaniu dysertacji i braku należytej korekty autorskiej przed wydrukowaniem pracy.

Poniżej wymieniono uwagi o charakterze dyskusyjnym.

1. Na stronie 97 Autor sformułował następujące zdanie „Wartości maksymalne prędkości odkształceń na profilu powierzchni pokazują, że dochodzi tam do ścinania wierzchołków w próbkach eksperymentalnych, a także do lokalnych szczepień metalicznych, które towarzyszą kontaktowi plastycznemu w trakcie ścinania wierzchołków”. Bardzo proszę o uzasadnienie tej tezy.
2. Na str. 119 Autor stwierdził „Geometryczną zgodność powierzchni obliczeniowej z doświadczalną ...” Bardzo proszę o uzasadnienie.

3. Wniosek nr 1 na stronie 153, wydaje się być oczywisty. Proszę o komentarz.
4. W podsumowaniu wyników badań brak jest porównania uzyskanych wyników do rezultatów podobnych tematycznie prac innych autorów.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wyszczególnione naukowe i utylitarne osiągnięcia doktoranta częściowo neutralizują wykazane przeze mnie słabości i liczne usterki redakcyjne opracowania.

Uważam, że recenzowana rozprawa prezentuje dobry poziom merytoryczny, zawiera wiele elementów nowości i oryginalności oraz wnosi wkład w rozwój zaawansowanych procesów spajania materiałów metalicznych w stanie stałym. Ponadto stwierdzam, że Autor wykazał się szeroką interdyscyplinarną wiedzą, umiejętnością planowania i realizacji badań naukowych, umiejętnością oceny uzyskanych wyników, co świadczy o predyspozycjach do realizacji prac badawczych.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska opracowana przez Pana mgr. inż. Pawła Siduna pt. „Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne plastycznego płynięcia z uwzględnieniem chropowatości i wzmocnienia materiału w strefie wymuszonego kontaktu dwóch powierzchni metalicznych” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa i może być dopuszczona do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

